

# 岩石蠕变及其扰动效应试验研究

范庆忠

(山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018)

**博士学位论文摘要:** 在深井软岩条件下, 巷道围岩应力状态处于岩石强度极限邻域内, 围岩会产生较大的蠕变变形, 而且随机扰动荷载会对蠕变变形产生很大的影响。因此, 研究岩石的蠕变特性以及岩石在扰动荷载作用下的变形效应, 建立蠕变扰动效应理论, 对深井软岩支护具有重要的工程实用价值。结合国家自然科学基金项目“岩石在强度极限邻域内的扰动蠕变特性实验研究”, 围绕岩石的非线性蠕变特性和蠕变扰动效应, 应用新研制的常载三轴扰动蠕变仪和弯曲试验仪, 进行岩石单轴压缩蠕变、四点弯曲蠕变和蠕变扰动效应等系列室内试验, 主要研究岩石的非线性蠕变特征、对扰动荷载敏感的邻域范围以及强度极限邻域内的蠕变扰动效应等, 并对试验结果进行多方面的研究和探讨, 得到了一系列有意义的研究成果, 论文的创新点和主要结论如下:

(1) 通过对红砂岩在分级加载下的单轴蠕变试验和利用 MTS 刚性伺服试验机对红砂岩试样进行瞬时反复加卸载试验、短时蠕变试验, 证明岩石在该荷载条件下与一次加载破坏相比, 试样的破坏应力、极限应变以及加载模量均有增加。泥岩在分级加载条件下, 经过蠕变变形后也发生了明显的硬化。

(2) 针对采用单一损伤变量或单一非线性黏滞系数描述蠕变 3 个阶段所存在的问题, 提出在岩石蠕变过程, 始终同时存在损伤和硬化两种相互竞争的机制。在衰减蠕变阶段, 硬化机制起主导作用; 在等速蠕变阶段两种机制接近均衡; 在加速蠕变阶段, 则是损伤机制起主导作用。通过对几个经典流变模型的分析, 提出非线性损伤-硬化 Maxwell 模型, 所建立的蠕变方程的优点是不需要分段或引入阈值处理, 可以用一个统一的方程描述岩石蠕变的 3 个阶段。

(3) 进行轴向岩石蠕变扰动效应试验研究, 结果表明: 岩石蠕变扰动存在一个应变阈值, 当应变小于该阈值时, 扰动累积残余变形经过初期快速发展后会趋于稳定, 并使静态蠕变发展出现短时休眠; 当应变大于该阈值时, 扰动累积残余变形加速发展, 并导致岩石迅速破坏。以该应变阈值为界限可将应变状态分为对扰动蠕变敏感和不敏感 2 个区域, 敏感区域定义为应变极限邻域。岩石蠕变扰动效应与静态蠕变规律相似, 可分为衰减、近似等速和加速 3 个阶段。扰动荷载强度对残余变形的发展过程有较大影响。在同等应变水平下, 增大扰动荷载则初始阶段残余变形和达到稳定状态时的累积变形较大, 应变水平对残余变形的发展起控制作用。

(4) 进行岩梁蠕变扰动效应试验研究, 在连续扰动荷载下拉伸一侧的残余变形衰减很快, 累积应变趋于稳定, 与蠕变的衰减阶段相似, 压缩一侧扰动累积变形小于拉伸一侧。间隔重复扰动试验表明, 在距离破坏极限应变较远时, 2 次相邻扰动会互相影响, 并且时间间隔越短, 前次的影响越大。岩石在弯曲强度极限邻域附近扰动累积残余变形的扰动试验表明, 弯曲蠕变在不同阶段对扰动响应是不同的, 当应力-应变水平较低时, 对扰动的敏感程度较低, 而在应力-应变水平较高时则较为敏感, 2 个区域的分界可以通过连续扰动来判别。在蠕变条件下, 以应变值作为 2 个区域分界参数较为适当。

**关键词:** 岩石力学; 蠕变; 软岩; 非线性; 损伤; 硬化; 扰动效应

**中图分类号:** TU452

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6915(2007)01-0216-01

## EXPERIMENTAL STUDY ON CREEP AND ITS DISTURBED EFFECT OF ROCKS

FAN Qingzhong

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

**收稿日期:** 2006-09-19

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(50474029)

**作者简介:** 范庆忠(1966-), 男, 博士, 2006 年于山东科技大学采矿工程专业获博士学位, 导师为高延法教授, 现任副教授, 主要从事矿山岩体力学和工程力学等方面的教学与研究工作。E-mail: stnff@163.com